

線状地中構造物の継手が軸方向の地震時挙動に及ぼす影響検討

独立行政法人土木研究所 正会員 西岡 勉
 独立行政法人土木研究所 正会員 運上茂樹

1. はじめに 線状地中構造物の縦断方向の耐震解析は、構造物とその周辺地盤を弾性床の上のはりにモデル化し、自然地盤の地震時変位を、地盤ばねを介して構造物に静的に作用させる応答変位法が一般に用いられている。しかし、同手法には、地震荷重の作用方法と地盤ばねモデルに問題を有している。本文では、3次元有限要素(FEM)モデルを用いた地盤・構造物連成系の静的解析を行い、弾性床はりモデルとの比較により線状地中構造物の継手が地震時の地盤・構造物間の軸ひずみ伝達特性に及ぼす影響について検討した結果を報告する。

2. 解析方法 解析方法は、図-1に示すように表層地盤および線状地中構造物を8節点6面体ソリッド要素としてモデル化したFEMによる静的解析とした。

表層地盤は、地盤全体の剛性を単純化するため均質とし、地盤のせん断波速度 $V_s=100\text{m/s}$ 、単位体積重量 $W_g=18\text{ kN/m}^3$ 、ポアソン比 $\nu_g=0.45$ の弾性体を仮定した。表層地盤の層厚(y方向)は $H=30\text{m}$ とし、構造物から表層地盤の側方境界までの距離は構造物の影響が十分小さくなるように H の約3倍の距離をとり、表層地盤モデルの幅(x方向)を $B=180\text{m}$ とした。

線状地中構造物は、図-2に示す横断面を有する1層2室共同溝とし、等価線形のソリッド要素でモデル化した。共同溝と構造物ソリッド要素の軸剛性が等価となるように構造物ソリッド要素の弾性係数 E_s を共同溝のRC断面積と構造物ソリッド要素の断面積の比により換算している。コンクリートの弾性係数は $E_c=2.35 \times 10^4\text{ N/mm}^2$ とした。また、構造物の構築深度(構造物中心深さ)を $H_c=15\text{m}$ とした。

地震荷重は、共同溝設計指針¹⁾に従い、図-3に示すように鉛直(y方向)の地盤変位分布が基盤面で0、地表面で最大の1/4波長の正弦波、軸(z方向)の地盤変位分布が1波長の正弦波となる慣性力を地盤および構造物に静的に作用させた。地盤変位の波長は $L=250\text{m}$ とし、地表面の地盤変位の振幅 $u_{a,\text{max}}$ は、表層地盤の固有周期 $T_s=4H/V_s=1.2\text{s}$ 、基盤面での速度応答スペクトル $S_v=90\text{cm/s}^2$ ($T_s=1.2\text{s}$)、 45° 方向入射の進行波を仮定し、表層地盤のせん断1次振動モデルより $u_{a,\text{max}} = \sin 45^\circ \cdot (2/\pi^2) \cdot S_v \cdot T_s = 15\text{cm}$ とした。なお、解析モデルの対称性と地震荷重の載荷条件を考慮し、実際の解析は1/4有限要素モデルに1/2波長の地盤変位を作用させた²⁾。表層地盤モデルの境界条件も解析モデルの対称性と地震荷重の載荷条件をもとに設定した²⁾。

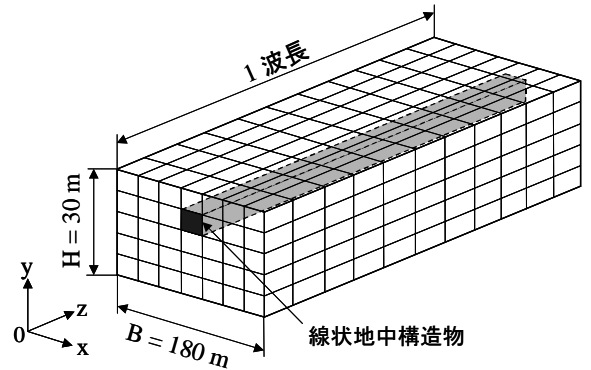


図-1 表層地盤および線状地中構造物の有限要素モデルの概念図

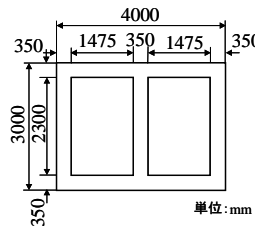


図-2 共同溝の横断面

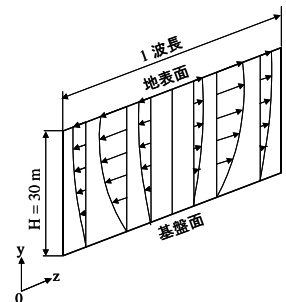


図-3 軸(z)方向の1波長正弦波地盤変位

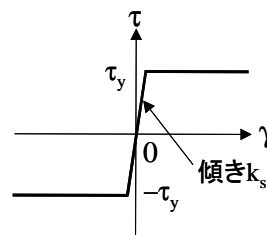


図-4 ジョイント要素

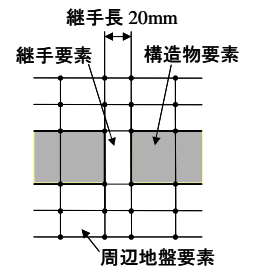


図-5 継手のモデル化

解析ケースは、地盤・構造物間に滑りを考慮せず、地盤と構造物が一体として挙動する場合と、滑りを考慮する場合の2 ケースとした。滑りを考慮する場合には、地盤・構造物間に図-4 に示すジョイント要素を設定した。ジョイント要素のせん断強度 τ_y は、Mohr-Coulomb 式でモデル化し³⁾、付着力 $c_j=0 \text{ kN/m}^2$ 、摩擦角 $\phi_j=30^\circ$ とし、 $\tau_y=122.5 \text{ kN/m}^2$ とした。ジョイント要素のせん断ばね k_s は十分な大きな値とし、 $k_s=1.0 \times 10^{10} \text{ kN/m}^3$ とした。

継手は、図-5 に示すように継手長を 20mm とし、地盤・構造物と同じ8 節点6 面体ソリッド要素でモデル化した。継手剛性は考慮しないこととし、継手ソリッド要素の弾性係数 E_j は、ごく微小な数値として $E_j=1.0 \times 10^{-12} \text{ N/mm}^2$ とした。継手間隔は 30m とし、図-6 に示すように継手を配置した。

軸ひずみを構造物および地盤ソリッド要素中心の軸方向(z 方向)の直ひずみとし、構造物の存在しない自然地盤における構造物位置の地盤の軸ひずみ $\epsilon_g(z)$ に対する構造物ソリッド要素の軸ひずみ $\epsilon_s(z)$ の比として FEM モデルの軸ひずみ伝達率 $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ を算定した。

3. 解析結果 軸方向距離 z を横軸に取り、滑りを考慮しない場合の FEM および弾性床はりモデルによる $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ の比較を図-7 に示す。 E_s を変化させることにより構造物の軸剛性を $E_s A_s=100, 10, 5\%$ と低下させた場合の $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ を示している。図-7 中の水平な太実線は、継手のない地中構造物に対する弾性床はりモデルの軸ひずみ伝達率 ϵ_s/ϵ_g であり z に依存せず z 方向の地盤ばね k_a 、構造物の軸剛性 $E_s A_s$ 、地盤変位の波長 L により決まる数値である。なお、 k_a は図-1 に示す表層地盤の xy 平面を単位奥行き長さを有する有限要素にモデル化し z 方向に構造物を強制変位させて得られる周辺地盤の反力から地盤ばねを算定した²⁾。滑りを考慮しない FEM の $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ はほぼ一定の値となり、継手のない弾性床はりの ϵ_s/ϵ_g にほぼ近似するが、弾性床はりの $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ は継手の影響を大きく受け、継手からの距離に応じて低下する。一方、滑りを考慮した FEM および弾性床はりモデルによる $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ の比較を図-8 に示す。地盤・構造物間に滑りが生じる場合は、滑りの影響で FEM の $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ も継手からの距離に応じて低下する。弾性床はりの $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ と FEM の $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ の継手による変化の傾向は似ているが、 $E_s A_s$ が低下するほど $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ の値の差は大きくなっている。

4. まとめ 滑りを考慮しない場合の FEM モデルでは、継手の影響が小さく、 $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ は z に依存せずほぼ一定の値を取る。一方、滑りを考慮する場合の FEM モデルでは、滑りの影響で継手からの距離に応じて $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ が低下し、その変化の様子は弾性床はりの $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ と同様の傾向を示すが、 $\epsilon_s(z)/\epsilon_g(z)$ の値には相違がある。

参考文献 1) (社)日本道路協会：共同溝設計指針，pp. 52-80, 1986.3, 2) 西岡勉，運上茂樹：線状地中構造物における地震時の軸ひずみ伝達特性に関する研究，構造工学論文集，Vol.49A, pp. 1199-1208, 2002.3, 3) 土木学会編：動的解析と耐震設計[第2 巻]動的解析の方法，pp. 123-125, 1989.6

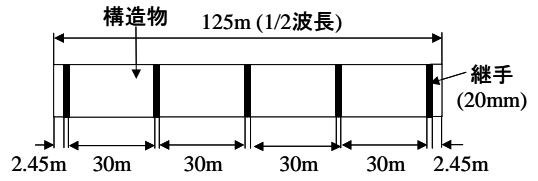


図-6 継手の配置

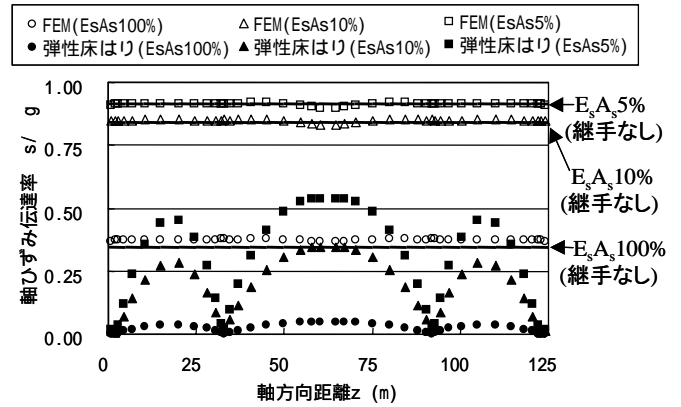


図-7 軸ひずみ伝達率の比較(滑りを考慮しない FEM モデル, 弾性床はりモデル)

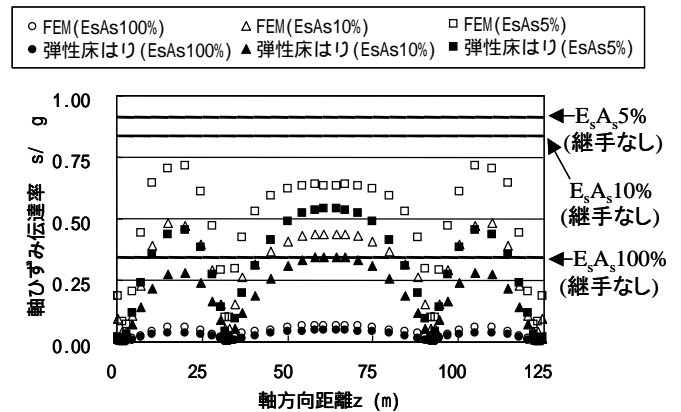


図-8 軸ひずみ伝達率の比較(滑りを考慮した FEM モデル, 弾性床はりモデル)